



⑯ Offenlegungsschrift  
⑯ DE 196 39 615 A 1

⑯ Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**A 61 B 19/00**  
A 61 B 17/00  
A 61 B 5/055  
A 61 B 6/00  
A 61 B 8/00  
G 05 D 3/20  
G 01 N 29/00  
G 01 C 21/00  
G 02 B 21/32

⑯ Anmelder:  
BrainLAB Med. Computersysteme GmbH, 85551  
Kirchheim, Heimstetten, DE

⑯ Vertreter:  
Schwabe, Sandmair, Marx, 81677 München

⑯ Erfinder:  
Vilsmeier, Stefan, 85586 Poing, DE

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑯ Neuronavigationssystem

DE 196 39 615 A 1

DE 196 39 615 A 1

# DE 196 39 615 A 1

1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Neuronavigationssystem mit einem Reflektorenreferenzierungssystem mit passiven Reflektoren und einem Markersystem mit Markern oder Landmarken, bei denen die Reflektoren sowie die Marker bezüglich ihrer Form, Größe und Materialauswahl sowie ihrer Anordnung bzw. Anbringung an den zu behandelnden Körperteilen und chirurgischen Instrumenten so ausgestaltet sind, daß ihre Lokalisation durch eine Rechner-/Kameraeinheit mit Grafik-Bildschirmausgabe sowie die Behandlung unter Zuhilfenahme dieser Einheit wesentlich erleichtert wird bzw. positionsgenauer stattfinden kann. Optional können ein chirurgisches Mikroskop, ein Ultraschall-Diagnosesystem sowie ein Kalibrierungsverfahren in das erfundungsgemäße Neuronavigationssystem integriert werden.

Neuronavigationssysteme stellen die Verbindung zwischen dem behandelnden Chirurgen, d. h. der Patientenanatomie wie er sie bei der Behandlung sieht, und diagnostischen Daten her, die beispielsweise durch eine Computertomographie erhalten wurden und durch eine Rechnereinheit mit einer Bildausgabe visuell dargestellt werden.

Um die oben genannte Verbindung herzustellen, d. h. die momentane Patientenanatomie und Position sowie die reale Raumposition von chirurgischen Instrumenten und Behandlungsapparaten auf dem Rechnerbildschirm sichtbar zu machen, müssen Vorrichtungen bereitgestellt werden, die die Patientenstellung und damit den genauen Ort der zu behandelnden Körperteile sowie den Ort der chirurgischen Instrumente und insbesondere deren Spitzen in einer Anfangsposition bestimmen und während der Operationstätigkeit verfolgen können.

Hierzu wird herkömmlicherweise eine Rechnereinheit zur Verfügung gestellt, an die zwei oder mehrere Referenzierungskameras angeschlossen sind. Mit den Kameras wird dann sowohl die Raumposition von an Patienten angebrachten künstlichen oder natürlichen Landmarken als auch die Raumposition von an chirurgischen Instrumenten angebrachten Strahlungsemittern festgestellt.

Bei bisherigen Systemen wird bezüglich der am Patienten angebrachten Landmarken folgendermaßen vorgegangen: Vor der Durchführung der Computertomographie wird ein Satz künstlicher Landmarken an dem Patienten in der Umgebung der zu behandelnden Partie angebracht. Diese Landmarken, die sowohl bei der Computertomographie als auch später bei der Behandlung durch die Kameras erfaßt werden können, sind untereinander völlig identisch. Sie werden beispielsweise über Pflaster aufgeklebt.

Nach der Behandlung werden die Daten der Computertomographie, d. h. sowohl die Positionsdaten der untereinander identischen künstlichen Landmarken als auch die Position des Behandlungszieldes und der umgebenden Bereiche in das Rechnersystem eingegeben, das zusammen mit den Referenzierungs- bzw. Erfassungskameras am Operationstisch angeordnet ist. Hierauf folgt ein zeitaufwendiger Schritt, bei dem der Chirurg die einzelnen Landmarken am Patienten mit einem Zeigegerät anfahren muß, wonach er in den Rechner eingeben muß, welche der identischen Landmarken in der Operationsstellung derjenigen entspricht, die bei der Computertomographie erfaßt wurde. Hierzu müssen alle Landmarken mehrmals angefahren werden, worauf jedesmal die aufwendige manuelle Zuordnung zu den Computertomographie (CT)-Daten zu erfolgen hat. Da die mit Pflastern befestigten Landmarken keine charakteristischen Bezugspunkte, welche beim Anfahren mit einer Instrumentenspitze nicht verfehlt werden können, aufweisen, kann hierbei nur eine relativ ungenaue Positionsbestimmung stattfinden.

2

Weiterhin nachteilig wirkt sich hierbei aus, daß die herkömmlichen Landmarken nach dem Abdecken mit sterilen Tüchern aufgrund ihrer insgesamt flachen Ausgestaltung nicht mehr ohne weiteres sichtbar sind und damit nicht mehr positionsgenau angefahren werden können, falls der Patient schon abgedeckt ist. Dies bringt insbesondere dann Schwierigkeiten mit sich, wenn in einer späteren Phase der Operation der Patient eine Stellungsänderung erfährt und die Landmarken zur neuerlichen Einjustierung nochmals mit einem Zeigegerät angefahren werden müssen.

Die bekannten Landmarken sind ferner nachteiligerweise, nachdem sie einmal am Patienten befestigt wurden, nicht mehr in der Weise abnehmbar, daß sie positionsgenau durch andere Landmarken ersetzt werden können.

Herkömmliche Abstrahlersysteme für chirurgische Instrumente und Behandlungsapparate sind wie folgt aufgebaut:

Zwei oder mehrere aktive Abstrahler, die beispielsweise Infrarotstrahlen emittieren, sind an jedem Instrument bzw. Behandlungsapparat angebracht und wirken als auf einer Fläche befindliche Punktstrahler. Im Instrument befindet sich eine elektronische Vorrichtung, die die Abstrahlung der Signale ermöglicht, wobei das Instrument an seinem hinteren Ende mit einem Kabel mit der Rechnereinheit verbunden ist. Durch die abgegebenen Signale kann die Rechnereinheit die Raumstellung der Instrumente bzw. ihrer Spitzen identifizieren.

Auch dieses herkömmliche Instrumentenreferenzierungssystem weist einige Nachteile auf, die im folgenden erörtert werden. Schon die Verwendung von aktiven, d. h. selbst abstrahlende Signalgebern bringt den Nachteil mit sich, daß elektronische Vorrichtungen in den Instrumenten vorgesehen werden müssen, was insbesondere die Herstellung der Instrumente verteuert. Auch sind die an jedem Instrument befestigten Kabel zur Rechnereinheit bei Operationen hinderlich und können bei der Vielzahl der oftmals zu verwendenden Instrumente bei Behandlung sehr im Wege sein.

Die als Punkte auf einer Fläche des Instruments angebrachten Abstrahler sind nur in einem sehr begrenzten Winkelbereich vom Kamerasytem erfaßbar, d. h. sie können leicht durch das Instrument selbst oder die Hand des Chirurgen abgedeckt werden.

Die Sterilisation dieser Instrumente kann nur mittels der Gassterilisation erfolgen.

Eine solche Gassterilisation kann bis zu einem Tag dauern, wodurch bei häufigem Einsatz mehrere Instrumentensätze eingekauft werden müssen, um jederzeit sterilisierte Behandlungsgeräte zur Verfügung zu haben.

Ein schwerwiegender Nachteil des herkömmlichen Referenzierungssystems besteht darin, daß der Chirurg ausschließlich die vom Hersteller zur Verfügung gestellten Instrumente verwenden kann. Viele Chirurgen sind jedoch an ihren eigenen Instrumentensatz gewöhnt und müßten sich bei der Verwendung eines anderen vorgegebenen Instrumentensatzes umstellen, was auch negative Auswirkungen auf den Behandlungserfolg haben kann.

Nachteiligerweise stellen herkömmliche Neuronavigationssysteme kein einfaches Kalibrierungssystem zur Verfügung, mit dem die Winkel bzw. Abstandsstellung der Erfassungskameras jederzeit komplikationslos erfaßt bzw. neu kalibriert werden kann. Da diese Kameras während einer Operation oftmals Stellungsveränderungen unterliegen, beispielsweise wenn eine der behandelnden Personen an den Kameraständer stößt, ist eine schnelle und leichte Neukalibrierung während der Behandlung von großer Wichtigkeit.

Meist kommt bei neurochirurgischen Behandlungen ein chirurgisches Mikroskop zum Einsatz. Solche Mikroskope

sind herkömmlicherweise auf schweren Füßen und Gestellen gelagerte Apparaturen, wobei das eigentliche Mikroskop am Ende eines Gelenkarmes befestigt ist, der die motorische und die manuelle Verschiebung des Mikroskops gestattet und die Positionsdaten beispielsweise über die Erfassung der Winkelstellung der Armgelenke an einer bei der Neuro-navigation verwendete Rechnereinheit rückmelden kann.

Die Füße bzw. Ständer solcher Mikroskope müssen sehr schwer und standfest ausgebildet werden, damit nicht etwa durch ein Anstoßen an das Mikroskop, dessen Stellung verändert werden könnte, und damit die gesamte erst auf die Anfangsstellung kalibrierte Neuronavigation des Mikroskops zusammenbricht. Die Mikroskope können nämlich herkömmlicherweise außer den Positionsdaten, die aus der Armstellung resultieren, keine zusätzlichen Positionsrückmeldungen an den Neuronavigationsrechner abgeben.

Schließlich kommen bei neurochirurgischen Behandlungen oftmals Ultraschall-Diagnosesysteme, wie sie beispielsweise bei der Untersuchung während einer Schwangerschaft bekannt sind, zum Einsatz. Nachteilig war bisher bei herkömmlichen Systemen die Tatsache, daß die Position von erfaßten Körperpartien zwar bezüglich des Ultraschallabstrahlers und Empfängers ermittelt werden konnte, jedoch keine Einordnung dieser Daten in ein am Operationstisch bereitgestelltes Neuronavigationssystem in einfacher Weise möglich war.

Es ist die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Neuronavigationssystem zur Verfügung zu stellen, das die vorgenannten Nachteile des Standes der Technik überwindet. Insbesondere soll die Lokalisation von chirurgischen Instrumenten und Behandlungsapparaturen sowie die Referenzierung der Patientenanatomie und die Behandlungstätigkeit unter Zuhilfenahme des erfundungsgemäßen Neuronavigationssystems wesentlich erleichtert werden bzw. positionsgenauer stattfinden können. Ferner soll insbesondere die Möglichkeit geschaffen werden, ein chirurgisches Mikroskop, ein Ultraschall-Diagnosesystem sowie ein Kalibrierungsverfahren für die Kamerastellung in ein Neuronavigationssystem zu integrieren.

Diese Aufgabe wird durch die Gegenstände der unabhängigen Ansprüche gelöst. Vorteilhafte Ausführungsformen sind durch die Unteransprüchen definiert.

Das erfundungsgemäße Referenzierungssystem arbeitet mit passiven Reflektoren anstelle von nach dem Stand der Technik bekannten aktiven Signalabstrahlern. Es wird für neurochirurgische Instrumente und Behandlungsapparaturen eingesetzt. Insbesondere kommen hierzu eine Strahlungsquelle für vorzugsweise Infrarotstrahlung, mindestens zwei Erfassungs- bzw. Referenzierungskameras und eine mit den Kameras verbundene Rechnereinheit mit einer Grafik-Bildschirmausgabe zum Einsatz. Erfundungsgemäß weist das Reflektorenreferenzierungssystem mindestens zwei Reflektoren auf, die wiederabnehmbar über Adapter an Instrumenten bzw. Behandlungsapparaturen angebracht werden können, und zwar in einer nur für diese Reflektorengruppe charakteristischen Anordnung. Der Vorteil eines solchen Referenzierungssystems mit passiven Signalgebern, also Reflektoren liegt insbesondere darin, daß aufgrund der charakteristischen individuellen Anordnung der Reflektoren jedes chirurgische Instrument ein nur für dieses Instrument selbst charakteristisches erfaßbares Bild zurückstrahlt. Die Rechnereinheit erkennt deswegen über die Kameraerfassung sofort jedes einzelne Instrument und kann beispielsweise dessen Spitzenposition eindeutig am Bildschirm erkennbar machen.

Da passive, also reflektierende Abstrahler verwendet werden, ist keine Kabelverbindung mit der Rechnereinheit so wie kein elektronisches "Innenleben" der Instrumente mehr

erforderlich. Der Chirurg erhält damit eine größere Bewegungsfreiheit; Behinderungen durch Kabel werden ausgeschlossen.

Die Reflektoren, die vorteilhafterweise über Adapter wie-derabnehmbar an Instrumenten bzw. Behandlungsapparatu-ren angebracht werden können, eröffnen die Möglichkeit, bei abgenommenen Reflektoren eine Autoklav-Sterilisa-tion der Instrumente durchzuführen. Solche Autoklav-Sterilisationen können im Gegensatz zum im Stand der Technik verwendeten Gassterilisationen in sehr viel kürze-rer Zeit (etwa 20 min) durchgeführt werden. Es ist damit nur noch nötig, einen oder mehrere Sätze sterilisierter Reflektoren zur Verfügung zu stellen, die auf die in der Autoklav-Sterilisation sterilisierten Instrumente aufgebracht werden. Es müssen also nicht mehr, wie beim Stand der Technik, jeweils mehrere Sätze vollständiger Instrumente bereitgestellt werden.

Die über Adapter an den chirurgischen Instrumenten wie-derabnehmbar anzubringenden Reflektoren können mit ei-nem gewissen Abstand von der Anbringungsfläche positioniert werden. Durch diese Maßnahme ergibt sich ein gegen-über den herkömmlichen Systemen stark vergrößerter Win-kelbereich, in dem die Reflektoren für das Kamerasytem noch erfaßbar sind.

Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung des Reflektorenreferenzierungssystems nach der Erfindung sind die Reflektoren kugelförmig ausgebildet und mit einem reflektie-renden Überzug versehen. Solche Kugeln geben aus allen Raumrichtungen betrachtet ein einheitliches Reflexionsbild ab.

Vorteilhafterweise sind zwei der erfundungsgemäßen Reflektoren an einem Instrument, insbesondere einem Punktzeiger oder einem Kalibrierungsstab, angebrachte Steckverbindungen an diesem befestigt. Solche Steckverbindungen erlauben ein positionsgenaues und leicht durchzuführendes Anbringen und Abnehmen der Reflektoren. Die Abstände der beiden Reflektoren sind durch die Positionen der Steckverbindungen für jedes Instrument charakteristisch festgelegt, was dessen Ortung und Identifizierung durch das Navi-gationssystem in jeder Operationsphase ermöglicht.

Gemäß einer weiteren Ausgestaltung- des Referenzierungssystems sind drei Reflektoren an mindestens jeweils einem Armende eines mit drei Reflektorenarmen und einem Befestigungsfuß ausgebildeten Adapters befestigt, wobei der Befestigungsfuß an einem chirurgischen Instrument oder einer Behandlungsapparatur befestigbar ist. Die drei an den Armenden des Adapters angebrachten Reflektoren sind wiederum in einer charakteristischen Anordnung vorgese-hen, d. h. für jeden Adapter ist beispielsweise die Winkelstellung der Arme sowie ihre Länge individuell einzigartig, wodurch für jeden Adapter ein charakteristisches Reflexionsbild entsteht. Der große Vorteil dieser Ausgestaltung liegt darin, daß eine solche Reflektorengruppe mit ihrem Adapter über ihrem Befestigungsfuß an praktisch jedem chirurgischen Instrument befestigt werden kann. Dies eröffnet für einen Chirurgen die Möglichkeit, seine gewohnten Instrumente weiter zu verwenden, d. h. in das Neuronaviga-tionssystem einzubinden. Erforderlich wird hier lediglich eine kurze Kalibrierung an einem Referenzadapter, der spä-ter noch beschrieben wird, um den System die Stellung der Spitze des chirurgischen Instruments mitzuteilen. Auch durch dieses Adaptersystem wird die Sterilisierung der In-strumente in der vorher schon diskutierten Weise vereinfacht. Das System stellt eine ausreichende Anzahl von Ad-apttern mit charakteristischen Reflektorengruppen zur Verfü-gung, so daß alle notwendigen Instrumente mit dem Neuro-navigationsystem zum Einsatz gebracht werden können.

Der oben erwähnte Referenzadapter wird gemäß einer

weiteren vorteilhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zur Verfügung gestellt. Er umfaßt ebenfalls einen Befestigungsfuß, der drei in besonderer charakteristischer Anordnung befestigbare Reflektoren am Ende dreier Arme aufweist, wobei der Fuß an seinem Ende mit einer sich an die jeweilige Befestigungsstelle flexibel anpassenden Klammervorrichtung versehen ist.

Dieser Referenzadapter hat insbesondere zwei Funktionen. Zum einen kann er an einem fest mit dem Operationsstisch verbundenen Punkt, beispielsweise an der Haltevorrichtung für die zu behandelnde Körperpartie befestigt werden. Dadurch und wegen der Tatsache, daß die Rechnereinheit nur diesem Referenzadapter sein charakteristisches Bild zuordnet, wird dafür Vorsorge getroffen, daß eine positionsgenaue Referenzierung aller Patientenanatomiedaten sowie eines gegenüber dem Patienten festen Reflexionsmuster auch dann noch möglich ist, wenn es während einer Operation notwendig wird, den Operationstisch zu verschieben, zu kippen, oder wenn versehentliche Stellungswechsel durch ein Anstoßen erfolgen. Die Reflexion des Referenzadapters meldet die Lage des fest mit dem Patienten verbundenen Systemteils jederzeit an die Rechnereinheit, so daß wegen solcher Verschiebungen keine Ungenauigkeiten und kein Zusammenbruch der Navigation auftreten kann.

Die Klammer am Befestigungsfuß des Referenzadapters kann verschiedenartig ausgestaltet werden. So ist sie zum Beispiel zur Anbringung an einer Haltevorrichtung mit einer Schraubklemme ausgebildet, während in dem Fall, daß die Anbringung an einem Knochen teil erfolgt, weiche undstellungsmäßig flexible Klemmenenden zum Einsatz kommen, welche das Knochengewebe nicht schädigen. Letztere Möglichkeit kommt insbesondere bei Eingriffen im spinalen Bereich zum Tragen, wo der Referenzadapter beispielsweise an Wirbelfortsätzen befestigt wird.

Gemäß einer Ausgestaltung des Referenzadapters weist dieser vorzugsweise am Ausgangspunkt der drei Arme eine konisch zusammenlaufende Trichtermulde mit einem zentralen Kalibrierungspunkt für die Spitzen der chirurgischen Instrumente auf. Hier kommt die zweite Funktion des Referenzadapters zum Tragen. Wie schon im vorhergehenden erläutert, bezeichnet der Referenzadapter im Navigationssystem einen gegenüber dem Patienten ortsfesten Punkt. Diese Eigenschaft kann dadurch ausgenutzt werden, daß dem Referenzadapter gleichzeitig ein Kalibrierungspunkt zugeordnet wird, mit dessen Hilfe die Spitzenpositionen chirurgischer Instrumente bestimmt werden können. Wie im weiteren erläutert wird, kann mit Hilfe dieses Kalibrierungspunktes auch die Raumstellung anderer Apparaturen bestimmt werden.

Chirurgische Instrumente, insbesondere Instrumente, mit denen der Chirurg seit langer Zeit arbeitet, können wie vorher beschrieben, mit einem Drei-Reflektoren-Adapter bestückt werden, der dann ein für dieses Instrument charakteristisches Reflexionsbild abgibt. Hierzu muß allerdings dem Navigationssystem noch mitgeteilt werden, wo sich die Spalte dieses Instruments befindet. Hierzu wird der Kalibrierungspunkt am Referenzadapter verwendet. Der Chirurg bringt die Spalte seines Instruments an den ortsbekannten Kalibrierungspunkt. Dies wird durch die Trichterform der konisch ausgestalteten Mulde, die an diesem Punkt zusammenläuft, erleichtert, auch wird die Spalte so festgestellt, daß sie völlig ruhig liegt. Danach führt der Chirurg einige Raumbewegungen mit dem Ende des chirurgischen Instruments durch, an dem sich der Drei-Reflektoren-Adapter befindet. Bei dieser Bewegung läuft, da die Spalte des Instruments stillsteht, jeder Reflektor auf einer Strecke, die in einer Kugelfläche mit dem senkrechten Abstand des Reflektors zum Trichtermittpunkt liegt. Die Rechnereinheit des

Navigationssystems kann diese spezielle Bewegung identifizieren und "weiß", daß mit diesem Drei-Reflektoren-Adapter gerade eine Spitzenkalibrierung vorgenommen wird. Sie errechnet den Abstand der Spalte zu den jeweiligen Reflektoren und damit die Spaltenposition des chirurgischen Instruments und ordnet diese dem charakteristischen Reflektormuster der drei am Instrument angebrachten Reflektoren zu. Das Instrument ist damit kalibriert und eindeutig identifiziert; es kann während der gesamten Operation zum Einsatz kommen.

Das Markersystem zur Referenzierung und Positionsbestimmung von neurochirurgisch zu behandelnden Körperpartien umfaßt mindestens drei künstliche Landmarken und ebenso viele Befestigungsvorrichtungen zur Befestigung der Landmarken am Patienten. Erfahrungsgemäß gibt jede einzelne Landmarke ein sowohl bei einer diagnostischen Patientendatenerfassung als auch bei einer nachfolgenden Behandlungsüberwachung nur für sich selbst charakteristisches Bild ab.

Gegenüber dem Stand der Technik, der wie schon vorher erwähnt, mit untereinander gleichen, beispielsweise mit Plastern aufgeklebten Landmarken arbeitet, zeigt das erfahrungsgemäße Markersysteme folgende Vorteile: Die Landmarken können einzeln identifiziert werden, und dies sowohl während der Computertomographie als auch durch das Neuronavigationssystem während der Operation. Die individuell bestimmten und erfaßten Landmarken werden nur einer Position im Raumkoordinatensystem zugeordnet. Es besteht nicht die Möglichkeit, daß die Landmarken bei der Erfassung durch das Neuronavigationssystem über die Kamera verwechselt werden.

Durch diese Ausgestaltung entfällt bei der Patientenreferenzierung der vorher beim Stand der Technik als negativ befundene langwierige erste Referenzierungsschritt für die Landmarken. Der Chirurg muß zwar immer noch mindestens drei Landmarken einzeln anfahren. Es entfällt jedoch die Tätigkeit der jeweiligen manuellen Positionszuordnung für diese Landmarke, da das Neuronavigationssystem die Reflexion der angefahrenen Landmarke erkennt und ihre Position nur derjenigen bei der Computertomographie erfaßten Landmarke zugeordnet, die dasselbe charakteristische Bild abgibt. Damit kann die gesamte Zeit für die Landmarkenzuordnung eingespart werden. Da die Raumordnung der Landmarken zueinander ebenfalls ein charakteristisches Bild im Neuronavigationssystem abgibt, genügt meist das Anfahren von drei Landmarken mit einem Positionszeigergerät, dessen Spaltenposition dem System beispielsweise über eine vorgenannte Reflektorenanordnung bekannt ist, um eine ausreichend genaue Referenzierung der Patientenanatomiedaten durchzuführen. Das erfahrungsgemäße Markersystem erlaubt demnach vorteilhafterweise eine sehr viel schnellere und genauere Positionsbestimmung und Referenzierung von neurochirurgisch zu behandelnden Körperteilen.

Die vorher beschriebenen Landmarken können aus Metallkörpern bestehen, die aufgrund spezifischer Materialdichte, Größe, Form und Anordnung zueinander bei der Datenerfassung in einem Computertomograph sowie bei der Positionserkennung mit Infrarotkameras individuell unterscheidbar sind. Vorzugsweise bestehen sie aus von ihren Befestigungsvorrichtungen abnehmbaren Aluminiumkörpern, die eine spezifische Form oder Größe aufweisen. Solche Aluminiumkörper sind einfach herstellbar und aufgrund ihres metallischen Charakters gut erfaßbar. Auch sind sie relativ leicht und lösen somit nicht schon durch ihr Eigengewicht die Befestigungsvorrichtungen, an denen sie abnehmbar befestigt sind, vom Patienten. Die Zweiteiligkeit der Landmarken spielt ebenfalls eine besondere Rolle. Die Be-

festigungsvorrichtungen, welche an ihrem Unterteil mit einem Haftmittel beispielsweise an der Haut des Patienten befestigt werden, können etwas erhaben, beispielsweise als Sockel ausgebildet werden. Auf diese Sockel kann mittels einer Steckverbindung oder einem andersartigen Schnellverschluß die jeweilige Landmarke befestigt werden. Damit besteht grundsätzlich die Möglichkeit, die Landmarken zur Durchführung besonderer Einstellungsvorgänge auszutauschen. Weiterhin hebt sich der gesamte Marker mit Befestigungssockel und aufgesetzter Landmarke soweit von der Patientenanatomie ab, daß er auch nach einer Abdeckung durch sterilisierende Tücher noch einfach lokalisiert werden kann.

Das erfindungsgemäße Markersystem wird bei einer besonders bevorzugten Ausführungsform dadurch ergänzt, daß es einen zusätzlichen Satz trichterförmiger Landmarken umfaßt, deren Trichtermittpunkt dem Mittelpunkt der Landmarken entspricht, für die sie vor einer Referenzierung am Operationstisch ausgetauscht werden können.

Durch eine solche Ergänzung des Markersystems läßt sich die Genauigkeit der Positionsbestimmung und Referenzierung der Patientenanatomie in starkem Umfang erhöhen. Die bei der Computertomographie verwendeten Landmarken werden nach der Computertomographie von den Befestigungsvorrichtungen am Patienten abgenommen und durch Landmarken ersetzt, die eine Einrichtung wie einen spitz zulaufenden Innentrichter aufweisen. Durch einen solchen Innentrichter, dessen Mittel- bzw. Ausgangspunkt genau im Zentrum der Landmarke positioniert ist, läßt sich die Spitze eines chirurgischen Instruments unverschieblich und positionsgenau bei einer Referenzierung ansetzen.

Falls beispielsweise die Landmarke, die bei der Computertomographie verwendet wird, eine Kugel mit einem bestimmten Durchmesser war, kann diese nach der Computertomographie durch z. B. eine Dreiviertel-Kugel mit gleichem Durchmesser ersetzt werden, die an ihrem oberen Abschnitt einen Trichter aufweist, welcher genau im Mittelpunkt der Kugel zusammenläuft. Die Dreiviertel-Kugel ist aufgrund ihres übereinstimmenden Durchmessers noch immer als dieselbe Landmarke identifizierbar, wie die vollständige Kugel, die durch sie ersetzt wurde.

Der Chirurg kann nun, bei dem vorher beschriebenen Schritt der Landmarkenerkennung mit einem Positionszeiger aufgrund der Trichterausbildung genau den Mittelpunkt der Landmarke anfahren. Hierdurch lassen sich Ungenauigkeiten beim Anfahren dieses Punktes, wie sie beim System gemäß dem Stand der Technik entstehen können, dessen Landmarken keine ausgezeichneten Stellen aufweisen, sehr gut vermeiden, die Referenzierung und Positionsbestimmung des Landmarkenmittelpunktes wird mit hervorragender Genauigkeit durchgeführt. Auch bei diesem Referenzierungsverfahren kann wie beim oben erläuterten Kalibrierungsverfahren mittels des Kalibrierungspunktes des Referenzadapters, die Spitze des Positionszeigers an einer Stelle festgehalten werden, während dessen Ende bewegt wird. Beim Referenzieren der jeweiligen Landmarke wird also der Rechnereinheit durch das Stillstehen der Spitze während der Bewegung des Positionszeigers mitgeteilt, daß momentan eine Landmarken-Referenzierung stattfindet.

Weiterhin vorteilhaft wirkt sich die "Trichtergestaltung" in dem Moment aus, wenn die Landmarken während einer Operation aus irgendeinem Grund nachreferenziert werden müssen. Sollte der Patient nämlich schon durch sterile Tücher abgedeckt worden sein und befinden sich die Landmarken unter diesen Tüchern, so sind sie aufgrund ihrer erhabenen Struktur noch gut identifizierbar. Wegen der ausgebildeten Trichterform und weil die Sterilisationstücher eine geringe Dicke aufweisen, können die Mittelpunkt der Land-

marken nunmehr auch dann sehr positionsgenau angefahren werden, wenn die Landmarken schon mit Tüchern abgedeckt sind. Der Patient muß, falls die Referenzierung einmal wiederholt werden muß, nicht erst von den Tüchern befreit und nach der Referenzierung wieder abgedeckt werden, was in der Praxis nie möglich ist.

Die Erfindung umfaßt weiterhin ein Kalibrierungsverfahren zur Bestimmung der Winkel- und Abstandsstellung von Referenzierungskameras, bei dem ein Kalibrierungswerkzeug mit zwei an vorbestimmten Positionen mit bekanntem Abstand angebrachten Reflektoren in den Aufnahmebereich beider Kameras eingebracht wird, das Kalibrierungswerkzeug im Aufnahmebereich räumlich bewegt wird, mehrere Zwischenstellungen des Kalibrierungswerkzeugs von den Referenzierungskameras aufgenommen und mittels einer Rechnereinheit einzeln in Raumkoordinaten umgesetzt werden und die Rechnereinheit aus den Raumpositionen der Reflektoren die Winkel- und Abstandsstellung der Kameras errechnet und speichert.

Die Möglichkeit, daß während einer Operation einer der Operationsteilnehmer an den Kameraständer oder die Kameras selbst stößt, ist nicht völlig abwegig. Bei einer Stellungsveränderung der Kameras während einer Operation können aber plötzlich unterschiedliche Bilder an das Rechnersystem geliefert werden. Um eine Neukalibrierung vorzunehmen, die wenig Zeit in Anspruch nimmt, aber auch um eine Anfangskalibrierung leicht durchführen zu können, bietet das vorher beschriebene Verfahren erfindungsgemäß eine vorteilhafte Möglichkeit. Die Rechnereinheit kennt die Form der Reflektoren und ihren Abstand auf dem Kalibrierungswerkzeug und kann, in einem gesonderten Kamerastellungs-Kalibrierungsschritt dieses Kalibrierungswerkzeugs deshalb dann erkennen, wenn es im Aufnahmebereich der Kameras geschwenkt wird. Die Informationen, die sich aus "Momentaufnahmen" mehrerer Stellungen des Kalibrierungswerkzeugs während dessen Bewegung ergeben, lassen für die Rechnereinheit aufgrund der bekannten Daten des Kalibrierungswerkzeugs einen Rückschuß auf die Kamerastellung zu. Schon nach kurzer Zeit kann die Rechnereinheit die Kamerastellung erfassen. Dieses Verfahren spart zunächst bei der Ersteinstellung Zeit und ist wegen seiner schnellen Durchführbarkeit und Einfachheit auch zur Nachjustierung nach einem Kamera-Stellungswechsel bestens geeignet.

Bei der räumlichen Bewegung des Kalibrierungswerkzeugs beim Kalibrierungsvorgang für die Kameras ist es von Vorteil, wenn beide Reflektoren zu jedem Zeitpunkt möglichst weit voneinander entfernt sind, und zwar bezogen auf die projizierte Kameraerfassungsebene. Deshalb wird bei einer vorteilhaften Ausgestaltung des Kalibrierungsverfahrens die räumliche Bewegung des Kalibrierungswerkzeugs und damit der Reflektoren auf einer Grafik-Bildschirmausgabe, beispielsweise dem Bildschirm des Neuronavigationssystems, durchgängig angezeigt. Die Bewegungen können dann so durchgeführt werden, daß beide Reflexionspunkte am Schirm immer möglichst weit auseinander sind, was eine schnellere und genauere Kalibrierung ermöglicht.

Als Kalibrierungswerkzeug kann vorteilhafterweise ein mit abnehmbaren Reflektoren versehener Punktzeiger verwendet werden, welcher bei jeder Operation ohnehin benötigt wird. Die Daten der Reflektoren sowie ihr Abstand werden dann dem System als Daten des Kalibrierungswerkzeugs eingegeben werden.

Alternativ besteht die Möglichkeit, einen separaten mit abnehmbaren Reflektoren versehenen Kalibrierungsstab einzusetzen, der dann, zum jeweiligen System gehörig, jedesmal eingesetzt wird. Vorteilhafterweise kann ein solcher Kalibrierungsstab länger sein als beispielsweise ein Punkt-

zeiger. Auch hierdurch läßt sich die Schnelligkeit und Genauigkeit der Kalibrierung verbessern.

Die Erfindung betrifft ferner eine Steuerung für ein chirurgisches Mikroskop. Das Mikroskop umfaßt folgende Bauteile:

Einen Mikroskopständer mit einem Fuß und mehreren motorisch und manuell im Raum bewegbaren aneinander angelehnten Armen und einer Mikrosophalte- bzw. Steuereinheit,  
eine Strahlungsquelle für vorzugsweise Infrarotstrahlung, mindestens zwei Erfassungs- bzw. Referenzierungskameras, und  
eine mit den Kameras verbundene Rechnereinheit mit einer Grafik-Bildschirmausgabe.

Erfindungsgemäß ist das Mikroskop dadurch gekennzeichnet, daß mindestens drei Reflektoren wieder abnehmbar über einen Adapter in einer nur für diese Reflektorengruppe charakteristischen Anordnung an ihm angebracht sind.

Eingangs ist bei Mikroskopen gemäß dem Stand der Technik für nachteilig befunden worden, daß diese ihre Positionsmeldung lediglich aufgrund der Winkelstellung der Trägerarmteile an eine Rechnereinheit eines Neuronavigationssystems zurückmelden können. Sie müssen deshalb mit sehr schweren Ständern und Füßen ausgestattet werden, damit keine ungewollte Verschiebung des Mikroskops die Neuronavigation referenzlos machen und damit beenden kann.

Die erfindungsgemäß Mikroskopsteuerung, die eine charakteristische Reflektorenanordnung beinhaltet, welche am Mikroskop adaptiert ist, bietet nunmehr die Möglichkeit einer weiteren Rückmeldung der Positionsdaten des Mikroskops. Durch die besondere Anordnung der Reflektoren kann ein Neuronavigationssystem jederzeit diese Anordnung als Mikroskop-Reflektorenanordnung identifizieren. Die Mikroskopstellung wird über das Kamerasytem dem Rechner also als unmittelbare Raumposition mitgeteilt. Auch wenn eine Verschiebung des Mikroskops erfolgt, können deshalb die Daten aus der Arm-Gelenkstellung und diejenigen aus der Reflektorenstellung jederzeit abgeglichen werden; die Neuronavigation bleibt auch bei einem ungewollten Stellungswechsel des Mikroskops intakt.

Vorteilhafterweise wird die Raumstellung des Mikroskops bei einer ersten Kalibrierung mittels einer Fokussierung der Mikroskopoptik auf einem Punkt mit bekannten Raumkoordinaten, vorzugsweise den Kalibrierungspunkt eines Referenzadapters durchgeführt, wobei die Fokussierungsdaten mittels einer Datenübertragungseinrichtung an die Rechnereinheit übertragen werden, während dieselbe Rechnereinheit mittels der Reflektoren und der Kameras die Raumposition des Mikroskops feststellt.

Hier kommt wieder die schon vorher erwähnte Kalibrierungsfunktion eines Referenzadapters, der ebenfalls mit einer Drei-Reflektoren-Anordnung versehen ist zum Tragen. Um der Rechnereinheit mitzutellen, wo sich das Mikroskop in einer Ausgangsstellung befindet, kann der Fokus des Mikroskops auf den Trichtermittelpunkt eines vorher beschriebenen Referenzadapters scharf gestellt werden. Der Rechner erhält dann Daten über den Zoomfaktor und den Fokussierungsabstand über eine Datenübertragungseinrichtung, beispielsweise einer Datenleitung, von Mikroskop und kennt damit, weil der Raumort des Kalibrierungspunkts bekannt ist, die Stellung des Fokussierungspunktes sowie aus den Reflexionspunkten der am Mikroskop angebrachten Reflektoren die Mikroskopstellung. Aus diesen Daten kann eine genaue Positionsbestimmung des Mikroskops vorgenommen werden.

Nach der ersten Kalibrierung besteht erfindungsgemäß

nunmehr auch die Möglichkeit, jeweils durch die Ansteuerung der Bewegungsmotoren des Mikroskops durch die Rechnereinheit bzw. durch die Rückmeldung der Mikroskopbewegungen und -Positionsdaten an die Rechnereinheit 5 folgende Steuerungsabläufe durchzuführen:

- automatische Verfolgung und Fokussierung einer Instrumentenspitze, deren Position der Rechnereinheit, über Reflektoren bekannt ist;
- automatische Fokussierung eines gespeicherten oder vorgegebenen Behandlungspunktes; und
- Fokussierung eines Behandlungspunktes aus verschiedenen Raum- und Winkelstellungen des Mikroskops.

Damit lassen sich folgende Tätigkeiten durchführen: Der Chirurg deutet mit der Spitze eines mit Reflektoren versehenen, dem Navigationssystem bekannten Positionszeigers auf eine Stelle der zu behandelnden Partie, worauf die Rechnereinheit die Koordinaten dieser Stelle identifiziert und das Mikroskop an diese Stelle fährt und den Fokus genau hier einstellt. Der Chirurg spart sich dadurch aufwendige Manövriearbeiten mit dem Mikroskop-Steuersystem. Der Chirurg kann dem System ebenfalls einen bestimmten Punkt, den er bereits fokussiert hat, zur Abspeicherung geben. Dieser Punkt kann danach durch einen einfachen Befehl jederzeit vom Mikroskop wieder fokussiert werden. Manchmal, besonders wenn in Hohlräume mit nur kleinen Öffnungen einfokussiert werden muß, muß zur "Ausleuchtung" des gesamten Hohlräums die gedachte Mikroskop-Fokuslinie um diese Öffnung "geschwenkt" werden. Es besteht mit der vorliegenden Steuerung ebenfalls die Möglichkeit, den Schwenkpunkt dieser Linie einzuspeichern und eine vorher beschriebene Ausleuchtung vorzunehmen.

Erfindungsgemäß wird weiterhin ein Ultraschall-Diagnosesystem mit einem Ultraschallabstrahler- und -empfänger und einer damit verbundenen Auswertungseinheit- und einer Bildschirmausgabe vorgestellt. Dieses System zeichnet sich erfindungsgemäß dadurch aus, daß am Ultraschallabstrahler- und -empfänger ein Reflektorenadapter mit mindestens drei Reflektoren befestigt ist, der in einem eingangs beschriebenen Reflektorenreferenzierungssystem integriert ist.

Mit einer solchen erfindungsgemäßen Ausbildung lassen sich nunmehr die Daten, die mit einem Ultraschall-Diagnosesystem erhalten werden, positionell in ein Neuronavigationssystem einordnen. Auch der Ultraschallabstrahler- und -empfänger besitzt eine Reflektorengruppe mit einer speziellen Anordnung, die vom Rechner nur für ihn identifiziert wird. Wenn die Daten, die vom Ultraschallsystem ermittelt werden, mit den Anatomiedaten aus der Computertomographie abgeglichen werden, können mit diesem System auch solche Schwierigkeiten verhindert werden, die beispielsweise dadurch entstehen, daß nach der Öffnung der über dem Behandlungsgebiet liegenden Gewebeschichten das zu behandelnde Gewebe etwas "zusammensackt".

Das erfindungsgemäße Neuronavigationssystem besteht insgesamt aus mehreren Teilen, nämlich einem Reflektorenreferenzierungssystem, einem Markersystem, einem Kalibrierungsverfahren für die Kameras, einer Mikroskopsteuerung und einem Ultraschall-Diagnosesystem. Alle diese Systemteile können jeweils separat eingesetzt und verwirklicht werden, sind aber auch in jedweder Kombination nutzbar, wobei die im Vorhergehenden beschriebenen Vorteilen gegenüber dem Stand der Technik zum Tragen kommen.

Die Erfindung soll im weiteren beispielhaft anhand der beiliegenden Figuren näher erläutert werden. Es zeigen:

Fig. 1 ein Gestell, in dem eine Rechnereinheit mit Be-

dienelementen untergebracht ist, auf dem ein Computermonitor als Grafik-Bildschirmausgabeeinheit steht und an welches ein Kamerahalter mit zwei Infrarotkameras angebracht ist;

**Fig. 2** einen neurochirurgischen Punktzeiger mit an ihm angebrachten erfundsgemäßen Reflektoren;

**Fig. 3** eine chirurgische Pinzette, an deren hinterem Ende ein Adapter mit drei besonders angeordneten Reflektoren befestigt ist;

**Fig. 4** einen Querschnitt durch einen mit zwei Reflektoren versehenen Punktzeiger;

**Fig. 5** eine Aufsicht auf einen Referenzadapter mit drei Reflektoren und ein Kalibrierungspunkt;

**Fig. 6** eine verkleinerte Darstellung eines Kalibrierungsstabes;

**Fig. 7** einen Landmarken-Aufsatz, wie er bei einer Computertomographieaufnahme verwendet wird;

**Fig. 8** einen Landmarken-Aufsatz, wie er bei der Referenzierung der Landmarken am Operationstisch verwendet wird;

**Fig. 9** einen Querschnitt durch einen Befestigungssockel für die Landmarken-Aufsätze aus den **Fig. 7** und **8**; und

**Fig. 10** eine Aufsicht auf den Befestigungssockel der **Fig. 9**.

In einem Operationsraum, in dem das erfundsgemäße Neuronavigationssystem zum Einsatz kommt, steht an einem Ende eines Operationstisches beispielsweise ein Gestell, wie es in **Fig. 1** mit den Bezugszeichen **10** angedeutet ist. In diesem Gestell ist eine Rechnereinheit **11** und verschiedene weitere Steuerungseinheiten, wie zum Beispiel eine Tastatur (nicht bezeichnet) untergebracht. Verbunden mit dieser Rechnereinheit ist der auf dem Gestell plazierte Schirm **12**. Dieser gibt in verschiedenen Ansichten, auch in einer 3D-Ansicht, Schnittebenen bzw. Bilder der Patientenantomie wieder und zeigt auch die Positionen von chirurgischen Instrumenten oder Reflektoren an diesen Instrumenten und an Behandlungsapparaturen auf. Des Weiteren können in verschiedenen Feldern Zusatzinformationen ausgegeben werden.

Am Gestelloberteil, auf dem der Schirm **12** steht, ist ebenfalls ein Kamerahalter **13** befestigt. Dieser Kamerahalter **13** ist verstetbar ausgeführt und trägt an den Enden seiner oberen Arme zwei Infrarotkameras, die mit **14** bezeichnet sind.

Selbstverständlich sind die vorher beschriebenen Komponenten untereinander durch Datenübertragungsleitungen verbunden. Die Kameras **14** erfassen den Bereich des Operationstisches, in dem die Behandlung stattfindet und können dreidimensional Raumkoordinaten von chirurgischen Instrumenten und Behandlungsapparaturen erfassen, die mit Reflektoren versehen sind, welche Infrarotstrahlung reflektieren.

Am Operationstisch ist beispielsweise der Kopf eines Patienten an einer Feststellvorrichtung ortsfest befestigt. Die Koordinaten der Patientenantomie werden der in **Fig. 1** dargestellten Rechnereinheit **11** durch ein im weiteren beschriebenes Markersystem zunächst durch Computertomographie-Daten mitgeteilt, wobei die momentane Anordnung der Marker bei der Operation ebenfalls mit Hilfe der Rechnereinheit und der Kameras vor Ort referenziert wird.

Dazu wird beispielsweise ein in **Fig. 2** dargestellter Punktzeiger **20** verwendet. Der Punktzeiger **20** weist zwei durch Steckverbindungen an ihm angebrachte Reflektoren **21** und **22** auf. Der Abstand sowie die Form dieser Reflektoren **21** und **22** sind der Rechnereinheit **11** bekannt; d. h. dieser Punktzeiger **20** ist ein solcher, der immer dem jeweiligen Rechnersystem zugeordnet ist. Bekannt ist der Rechnereinheit **20** weiterhin die Position der Spitze **23** des Positionszeigers **20**. Wenn dieser Positionszeiger **20** in das Erfassungs-

feld der Kameras **14** gebracht wird, kann er unmittelbar vom System erkannt werden, d. h. seine Spitze **23** kann auf den Schirm **12** sichtbar gemacht werden.

Die **Fig. 3** zeigt nunmehr eine chirurgische Pinzette **30**.

**5** Am hinteren Ende dieser Pinzette **30** ist ein Adapter **31** lösbar mit dieser verbunden, der an seinen Armen drei Reflektoren **32**, **33** und **34** trägt welche eine charakteristische Anordnung aufweisen, die im Navigationssystem nur diesem Adapter **31** zugeteilt wird. Eine solche Pinzette **30** kann jedeweile Pinzette sein, an der sich der Adapter **31** anbringen lässt. Es kann sich also hier auch um eine Pinzette handeln, mit der ein Neurochirurg schon seit Jahren arbeitet. Damit die Pinzette **30** zum Einsatz kommen kann, muß dem Neuronavigationssystem zunächst die Position ihrer Spitze **35** mitgeteilt werden. Hierzu wird, wie schon vorher bezüglich des Reflektorenreferenzierungssystems beschrieben, mit der Pinzettenspitze **35** ein im Navigationssystem bekannter Raumpunkt angefahren, worauf Kreisbewegungen mit dem Ende der Pinzette **30** durchgeführt werden. Die Rechnerinheit **11** erkennt über die Kameras **14** die spezielle Anordnung der Reflektoren **32**, **33** und **34** und kann aus ihren Bewegungen bei stillstehender Spitze **35** der Pinzette **30** die Spitzenposition ermitteln.

**25** Der Punktzeiger **20** aus **Fig. 2** sowie die Pinzette **30** aus **Fig. 3** sollen an dieser Stelle beispielhaft für alle Instrumente stehen, die bei neurochirurgischen Eingriffen verwendet werden. Das System arbeitet kabellos mit einem Reflektorenadapter mit passiven Reflektoren, wie sie in **Fig. 3** gezeigt sind. Diese können beispielsweise auch an Ultraschall-Diagnosegeräten und neurochirurgischen Mikroskop befestigt werden, wobei die Kalibrierung eines Mikroskops dann, wie beschrieben, über die Fokussierung eines ortsbekannten Kalibrierungspunktes durchgeführt wird.

**30** Die **Fig. 4** zeigt eine Schnittansicht des Punktzeigers **20** aus **Fig. 2** in einer anderen Ebene. Deutlich wird hier, daß die Reflektoren **21** und **22** durch Steckverbindungen am Positionszeiger **20** angebracht sind. Die Reflektoren **21**, **22** sind deshalb abnehmbar. Da die Reflektoren **21**, **22**, die meist mit einem empfindlichen reflektierenden Überzug ausgestaltet sind, die einzigen Teile des Positionszeigers **20** sind, die bezüglich der Sterilisation eine hohe Empfindlichkeit aufweisen, ist dieser Positionszeiger **20** mit den abnehmbaren Reflektoren **21**, **22** sehr einfach und schnell sterilisierbar. Sind nämlich die Reflektoren **21**, **22** erst einmal abgenommen, kann beispielsweise eine Autoklav-Sterilisation durchgeführt werden, worauf ein neuer vorbereiteter Satz sterilisierter Reflektoren **21** und **22** aufgesteckt wird. Der Positionszeiger **20** kann so nach kurzer Zeit sterilisiert wiederverwendet werden.

**35** **40** Die **Fig. 5** zeigt eine Aufsicht auf einen schon vorher deöfteren beschriebenen Referenzadapter **50**, der mittels einer in dieser Ansicht unter seinem Mittelpunkt verborgenen Anklemmvorrichtung an einem relativ zum Patienten ortsfesten Teil befestigt wird. Dieser Teil kann beispielsweise die Feststelleinrichtung für den Kopf eines Patienten sowie ein Dornfortsatz in einem Wirbelkörper sein.

**45** Der Referenzadapter **50** besteht aus den Armen **51**, **52** und **53**, die eine nur für ihn charakteristische Länge und Winkelstellung aufweisen. Am Ende dieser Arme **51**, **52** und **53** sind jeweils Reflektoren **54**, **55** und **56** befestigt. Durch diese Reflektorengruppe und ihre charakteristische Anordnung und/oder Größe kann der Referenzadapter **50** jederzeit eindeutig durch das Neuronavigationssystem bezüglich seiner Position identifiziert werden. Die Position des Referenzadapters **50** bleibt normalerweise während einer Operation immer dieselbe. Falls es jedoch nötig wird, den Patienten umzulagern, kann der ortsfest mit der referenzierten Patientenantomie verbundene Referenzadapter **50** je-

derzeit auch nachträglich vom Navigationssystem erfaßt und verfolgt werden, so daß auch die Gesamtlage des Patienten-Referenzsystems jederzeit der Rechnereinheit 11 bekannt bleibt.

Eine besondere Rolle in Hinsicht auf den Referenzadapter 50 spielt der Kalibrierungspunkt 57, der in diesem Beispiel am Ausgangspunkt der drei Arme 51, 52 und 53 angeordnet ist. Er befindet sich in einer Mulde, so daß er positionsgenau durch Instrumentenspitzen (beispielsweise die Positionszeiger spitze 23, Fig. 2 oder die Pinzetten spitze 35, Fig. 3) angefahren werden kann. Nach diesem Anfahren folgt dann eine Bewegung des Instruments, deren Mittelpunkt die Spitze, also die Mulde des Referenzadapters 50 im Kalibrierungspunkt 57 bildet. Die bereits im einzelnen beschriebene Kalibrierung kann durchgeführt werden.

In sehr verkleinertem Maßstab ist in Fig. 6 ein Kalibrierungswerkzeug, hier ein Kalibrierungsstab 60 dargestellt. Dieser Kalibrierungsstab 60 sollte in realiter eine Länge von mindestens etwa 40 cm haben. An beiden Enden des Kalibrierungsstabes 60 ist in einem vorbestimmten, den Rechner 11 bekannten Abstand jeweils ein Reflektor 61, 62 angeordnet. Die charakteristischen Eigenschaften der auch hier abnehmbar ausgestalteten Reflektoren 61, 62, nämlich ihre Größe sowie ihr Abstand am Kalibrierungsstab 60 sind der Rechnereinheit 11 bekannt und werden nur diesem Stab zugeordnet. Mit diesem Stab 60 kann dann das schon beschriebene Kalibrierungsv erfahren für die Winkel- bzw. Abstandsstellung der Kameras 14 durchgeführt werden.

Die Fig. 7 zeigt einen Landmarken-Aufsatz, wie er bei der Erfassung der Patienten anatomie im Computertomographen verwendet wird. Dieser Aufsatz ist mit 70 bezeichnet. Er besteht aus einem kugelförmigen Hauptkörper 71, der beispielsweise eine Aluminiumkugel ist. In dieser Aluminiumkugel, die individuell auf der Basis ihrer im System einzigartigen Größe sowohl durch die Computertomographie als auch durch das Neuronavigationssystem identifiziert werden kann ist unten ein Rastfortsatz 72 angebracht, mit dem der Landmarkenaufsat 70 in eine Befestigungsvorrichtung 90 (Fig. 9) eingeschoben und eingerastet werden kann.

Ein Landmarkenaufsatz, durch den der Landmarkenaufsat 70 aus Fig. 7 nach der Computertomographie ersetzt wird, ist als Aufsat 80 in Fig. 8 bezeichnet. Die Abmessungen des Landmarkenhauptkörpers 81, d. h. der Kugeldurchmesser entspricht demjenigen des Landmarkenhauptkörpers 71 aus Fig. 7. Modifiziert ist der Landmarken-Aufsatz 80 dahingehend, daß ein oberer Teil der Kugel abgeschnitten ist und in die Kugel ein muldenförmiger Trichter 83 eingearbeitet wurde, dessen Spitze sich genau in der Kugelmitte befindet, wie im Ausbruch der Fig. 8 gezeigt ist. Der Rastfortsatz 82 entspricht genau dem Rastfortsatz 72 (Fig. 7).

Nach der Patientendatenerfassung im Computertomographen wird der Landmarken-Aufsatz 70 durch den Landmarken-Aufsatz 80 ersetzt. Weil beide Kugeln denselben Durchmesser haben, kann der Landmarken-Aufsatz 80 durch das Neuronavigationssystem als dieselbe Landmarke identifiziert werden, wie sie als Landmarke 70 bei der Computertomographie erfaßt wurde. Die Mulde mit der trichterförmig zusammenlaufenden Spitze erlaubt beim Referenzierungsschritt für die Landmarke 80 im Rahmen der Kalibrierung des Neuronavigationssystems das genaue Anfahren des Kugelmittelpunkts durch die Spitze eines chirurgischen Instruments. Damit wird die Referenzierung erleichtert und genauer gemacht, sie kann auch nach dem Abdecken mit sterilen Tüchern durchgeführt werden.

Die Fig. 9 zeigt eine Befestigungsvorrichtung 90, die an ihrer Unterseite mittels eines Haftmittels beispielsweise auf der Haut eines Patienten befestigt wird. Der Sockel 92 die-

ser Befestigungsvorrichtung 90 weist eine Einstektköpfung 91 auf, in die sowohl der Landmarken-Aufsatz 70 als auch der Landmarken-Aufsatz 80 aus den Fig. 7 und 8 einge stellt und verrastet werden können. Die Fig. 10 zeigt eine obere Ansicht der Befestigungsvorrichtung 90. Es ist zu sehen, daß im Sockel 92 eine zusätzliche nasenförmige Öffnung 100 eingebracht ist, durch die die Rastfortsätze 72, 82 eingeführt werden können. Nach dem Drehen der gesamten Landmarken-Aufsätze 70 und 80 rasten deren untere Vorsprünge im Durchgangsloch 91 des Sockels hinter dessen unterem Absatz ein und verbleiben dort fest.

Während nunmehr die wichtigsten Bestandteile des Neuronavigationssystems gemäß der Erfindung erläutert wurden, soll im folgenden die Erfindung noch dadurch weiter und eingehender erklärt werden, daß ein typischer Behandlungsablauf dargestellt wird:

Zunächst werden an einem Patienten, an dessen Gehirn ein neurochirurgischer Eingriff vorzunehmen ist, fünf Landmarkensockel 92 an der Haut in der Umgebung der zu öffnenden Schädelpartien befestigt. Zur Referenzierung der Anatomiedaten bei einer Computertomographie werden in die Sockel 92 fünf kugelförmige Aluminium-Landmarken-Aufsätze 70 eingesetzt. Die Stellen, an denen die Landmarken befestigt werden, werden so ausgewählt, daß sie während der Behandlung eine möglichst geringe Verschiebung erfahren. Sie sollten möglichst nah an der zu behandelnden Stelle liegen und dabei untereinander einen möglichst großen Abstand aufweisen. Mindestens drei Landmarken müssen verwendet werden, die Verwendung von zwei zusätzlichen Landmarken kann dem System jedoch eine größere Genauigkeit und Sicherheit verleihen.

Als nächstes wird eine Computertomographie durchgeführt, bei der die zu behandelnden Partien sowie die Landmarken erkannt und positionell miteinander ins Verhältnis gebracht werden.

Während der Patient in die Chirurgie gebracht wird, werden die Computertomographiedaten auf optischen Disks abgespeichert und darauf zur Rechnereinheit 11 gebracht, die die Daten ausliest und auf dem Schirm 12 als Bilder wieder gibt. Diese Bilder sind Schnittbilder in verschiedenen Ebenen sowie ein 3D-Bild. Der Chirurg kann seine Operationsstrategie nach dieser Wiedergabe planen. Während die Anästhesie des Patienten vorbereitet wird, wird die Stellung der Kameras 14 am Ständer kalibriert. Hierzu nimmt der Chirurg einen Kalibrierungsstab 60 mit zwei Reflektoren 61 und 62 und bewegt ihn in der Erfassungszone der Kameras 14. Durch die Erfassung von etwa zehn momentanen Stellungen der Reflektoren 61 und 62 am Kalibrierungsstab 60 in kurzen Abständen, kann das System die Kamerastellung erfassen und abspeichern.

Der Kopf des Patienten wird nun mit einer Feststellvorrichtung am Operationstisch räumlich unbeweglich gemacht. Hierauf werden die kugelförmigen Landmarken-Aufsätze 70 durch die mit Positionierungstrichtern 83 versehenen teilkugelförmigen Landmarken-Aufsätze 80 ersetzt.

Nach der Sterilisation wird der Patient steril abgedeckt, wobei auch die Landmarken 80 mit abgedeckt werden können. Die Abdeckung kann mittels herkömmlicher Tücher oder mittels einer durchsichtigen Folie durchgeführt werden.

Im darauffolgenden Schritt wird ein Referenzadapter 50 an der Feststellvorrichtung für den Kopf des Patienten befestigt. Er wird durch seine besondere Reflektoranordnung identifiziert, seine Position sowie die Position seines Kalibrierungspunktes 57 werden durch das Neuronavigationssystem festgestellt.

Der Chirurg kann nun mit einem ebenfalls identifizierten, dem System bekannten Punktzeiger 20 die fünf Landmar-

ken-Aufsätze 80 anfahren, und zwar so, daß die Spitze 23 des Punktzeigers 20 jeweils genau in die Trichter spitze, also den Mittelpunkt der Kugel 81 einfährt. Aus den bekannten Daten der jeweiligen Landmarken, die individuell unterscheidbar sind, kann das System innerhalb von Sekunden 5 die jeweiligen Landmarken identifizieren und somit auch die Patienten-Anatomiedaten aus der Computertomographie in sein Erfassungssystem übernehmen. Die Stellung der Spitzen von neurochirurgischen Instrumenten kann nunmehr relativ zu den Anatomiedaten am Schirm 12 dargestellt werden. Dies gilt nach einer Kalibrierung am Kalibrierungspunkt 57 des Referenzadapters 50 auch für jedwede chirurgischen Instrumente, auf die ein Reflektorenadapter 31 aufgesetzt wurde.

Um den genauen Ort zu bestimmen, an dem ein Eingriff vorgenommen werden muß, kann die Spitze eines Punktzeigers, der auf die Kopfhaut zeigt, virtuell verlängert werden. Der Chirurg sieht die zu behandelnde Läsion virtuell mit Hilfe der Bildschirmausgabe und kann durch die ebenfalls virtuelle Verlängerung seines Instruments den optimalen 15 Eingriffsweg vorausbestimmen.

Nach der Öffnung des Schädelns an der so aufgefundenen Stelle kann wie oben beschrieben, eine Pinzette 30 mit einem daran angebrachten Drei-Reflektoren-Adapter 31 am Kalibrierungspunkt 57 des Referenzadapters 50 kalibriert werden, d. h. der genaue Ort der Pinzettenspitze 35 wird festgestellt. Mit dieser Pinzette 30 kann nunmehr die Resektion der Läsion vorgenommen werden, wobei der Chirurg die Spitze 35 der Pinzette 30 zu jeder Zeit am Bildschirm 12 verfolgen kann.

Mit dieser Methode kann also die Resektion der Läsion unter weitgehender Vermeidung der Zerstörung von gesundem Gewebe durchgeführt werden. Ferner konnte die Operation in einer sehr kurzen Zeit durchgeführt werden. Alle verwendeten Instrumente konnten aufgrund des Einsatzes 35 von passiven Reflektoren kabellos bewegt werden, was den Chirurgen Behinderungen während der Operation ersparte. Er konnte durch den Einsatz von Drei-Reflektoren-Adaptoren seine eigenen gewohnten Instrumente verwenden. Alle diesen Faktoren konnten insgesamt zu einer Verbesserung des 40 Behandlungsergebnisses führen.

#### Patentansprüche

1. Reflektorenreferenzierungssystem für neurochirurgische Instrumente (20, 30) und Behandlungsapparaturen 45 mit einer Strahlungsquelle für vorzugsweise Infrarotstrahlung (14), mindestens zwei Erfassungs- bzw. Referenzierungskameras, einer mit den Kameras (14) verbundenen Rechnereinheit (11) mit einer Grafik-Bildschirmausgabe (12), und mehreren Reflektoren (21, 22, 32, 33, 34), dadurch gekennzeichnet, daß mindestens zwei Reflektoren (21, 22) wiederabnehmbar über Adapter (24, 31) an Instrumenten (20, 30) bzw. Behandlungsapparaturen in einer nur für diese Reflektorengruppe charakteristischen Anordnung angebracht werden können.
2. Reflektorenreferenzierungssystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Reflektoren (21, 60 22, 32, 33, 34) kugelförmig und mit einem reflektierenden Überzug ausgebildet sind.
3. Reflektorenreferenzierungssystem nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß zwei Reflektoren (21, 22) über an einem Instrument, insbesondere einem 65 Punktzeiger (20) oder einem Kalibrierungsstab (60), angebrachte Steckverbindungen (24) an diesem befestigt werden.

4. Reflektorenreferenzierungssystem nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß drei Reflektoren (32, 33, 34) an mindestens jeweils einem Armende eines mit Reflektorenarmen und einem Befestigungsfuß ausgebildeten Adapters (31) befestigt sind, wobei der Befestigungsfuß an einem chirurgischen Instrument (30) oder einer Behandlungsapparatur befestigbar ist.

5. Reflektorenreferenzierungssystem nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens drei Reflektoren an einem Adapter zur Anbringung an ein chirurgisches Mikroskop befestigt sind.

6. Reflektorenreferenzierungssystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß es ferner einen dreiarmigen Referenzadapter (50) mit einem Befestigungsfuß umfaßt, der ebenfalls drei in besonderer charakteristischer Anordnung befestigebare Reflektoren (54, 55, 56) an jedem Armende aufweist, wobei der Fuß an seinem Ende mit einer sich an die jeweilige Befestigungsstelle flexibel anpassenden Klammer versehen ist.

7. Reflektorenreferenzierungssystem nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Referenzadapter vorzugsweise am Ausgangspunkt der drei Arme (51, 52, 53) eine konisch zusammen laufende Trichtermulde mit einem zentralen Kalibrierungspunkt (57) für die Spitzen der chirurgischen Instrumente (20, 30) aufweist.

8. Markersystem zur Referenzierung und Positionsbestimmung von neurochirurgisch zu behandelnden Körperpartien, mit mindestens drei künstlichen Landmarken-Aufsätzen (70), ebenso vielen Befestigungsvorrichtungen (90) zur Befestigung der Landmarken-Aufsätze (70) am Patienten, dadurch gekennzeichnet, daß jeder einzelne Landmarken-Aufsatz (70) ein sowohl bei einer diagnostischen Patientendatenerfassung als auch bei einer nachfolgenden Behandlungsüberwachung nur für sie selbst charakteristisches Bild abgibt.

9. Markersystem nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Landmarken-Aufsätze (70) aus Metallkörpern bestehen, die aufgrund spezifischer Materialdichte, Größe, Form und Anordnung bei der Datenerfassung in einem Computertomographen sowie bei der Positionserkennung mit Infrarotkameras individuell unterscheidbar sind.

10. Markersystem nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Landmarken-Aufsätze (70) aus von den Befestigungsvorrichtungen (90) abnehmbaren Aluminiumkörpern von erfaßbar spezifischer Form und/oder Größe bestehen.

11. Markersystem nach den Ansprüchen 8 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß es einen zusätzlichen Satz trichterförmiger Landmarken-Aufsätze (80) umfaßt, deren Trichtermittelpunkt dem Mittelpunkt der Landmarken-Aufsätze (70) entspricht, für die sie vor einer Referenzierung am Operationstisch ausgetauscht werden können.

12. Kalibrierungsverfahren zur Bestimmung der Winkel- und Abstandsstellung von Referenzierungskameras (14), dadurch gekennzeichnet, daß ein Kalibrierungswerkzeug (60, 20) mit zwei an vorbestimmten Positionen mit bekanntem Abstand angebrachten Reflektoren (61, 62, 21, 22) in den Aufnahmebereich beider Kameras (14) eingebracht wird, das Kalibrierungswerkzeug (60, 20) im Aufnahmebereich räumlich bewegt wird, mehrere Zwischenstellungen des Kalibrierungswerkzeugs (60, 20) von den Referenzierungskameras (14)

# DE 196 39 615 A 1

17

aufgenommen und mittels einer Rechnereinheit (11) einzeln in Raumkoordinaten umgesetzt werden, und daß die Rechnereinheit (11) aus den Raumpositionen der Reflektoren (61, 62, 21, 22) die Winkel und Abstandsstellung der Kameras (14) errechnet und speichert. 5  
 13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß eine Grafik-Bildschirmausgabe (12) während der räumlichen Bewegung des Kalibrierungswerkzeugs (60, 20) die projizierte Relativstellung der Reflektoren (61, 62, 21, 22) anzeigt. 10  
 14. Verfahren nach Anspruch 12 oder 13, dadurch gekennzeichnet, daß als Kalibrierungswerkzeug ein mit abnehmbaren Reflektoren (21, 22) versehener Punktzeiger (20) verwendet wird. 15  
 15. Verfahren nach Anspruch 12 oder 13, dadurch gekennzeichnet, daß als Kalibrierungswerkzeug ein mit abnehmbaren Reflektoren (61, 62) versehener Kalibrierungsstab (60) verwendet wird. 20  
 16. Steuerung für ein chirurgisches Mikroskop mit einem Mikroskopständer mit einem Fuß und mehreren motorisch oder manuell im Raum bewegbaren aneinander angelenkten Armen und einer Mikroskophalte- bzw. Steuereinheit, einer Strahlungsquelle für vorzugsweise Infrarotstrahlung, mindestens zwei Erfassungs- bzw. Referenzierungs- 25 kameras, einer mit den Kameras verbundenen Rechnereinheit mit einer Grafik-Bildschirmausgabe, dadurch gekennzeichnet, daß am Mikroskop mindestens drei Reflektoren wiederabnehmbar über einen Adapter in einer nur für diese Reflektorengruppe charakteristischen Anordnung angebracht sind. 30  
 17. Steuerung nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß die Raumstellung des Mikroskops bei einer ersten Kalibrierung mittels einer Fokussierung der Mikroskopoptik auf einen Punkt mit bekannten Raumkoordinaten, vorzugsweise den Kalibrierungspunkt eines Referenzadapters, durchgeführt wird, wobei die Fokussierungsdaten mittels einer Datenübertragungseinrichtung an die Rechnereinheit übertragen werden, während dieselbe Rechnereinheit mittels der Reflektoren und der Kameras die Raumposition des Mikroskops feststellt. 35  
 18. Steuerung nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß nach der ersten Kalibrierung jeweils durch die Ansteuerung der Bewegungsmotoren des Mikroskops durch die Rechnereinheit bzw. durch die Rückmeldung der Mikroskopbewegungen und -positionsdaten an die Rechnereinheit folgende Steuerungsabläufe durchgeführt werden: 40  
     a) Automatische Verfolgung und Fokussierung einer Instrumentenspitze deren Position der Rechnereinheit über Reflektoren bekannt ist; 45  
     b) Automatische Fokussierung eines gespeicherten oder vorgegebenen Behandlungspunktes; und  
     c) Fokussierung eines Behandlungspunktes aus verschiedenen Raum- und Winkelstellungen des Mikroskops. 50  
 19. Ultraschall-Diagnosesystem mit einem Ultraschallabstrahler- und -empfänger, einer damit verbundenen Auswertungseinheit und Bildschirmausgabe, dadurch gekennzeichnet, daß am Ultraschallabstrahler- und -empfänger ein Reflektorenadapter mit mindestens drei Reflektoren befestigt ist, der in einem Reflektorenreferenzierungssystem nach den Ansprüchen 1 bis 7 integriert ist. 55  
 60

18

20. Neuronavigationssystem mit einem Reflektorenreferenzierungssystem nach den Ansprüchen 1 bis 7 und einem Markersystem nach den Ansprüchen 8 bis 11. 21. Neuronavigationssystem nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, daß es ferner eine Mikroskopsteuerung nach den Ansprüchen 16 bis 18 für ein chirurgisches Mikroskop umfaßt. 22. Neuronavigationssystem nach einem der Ansprüche 20 oder 21, dadurch gekennzeichnet, daß vor seinem Einsatz ein Kalibrierungsverfahren nach den Ansprüchen 12 bis 15 durchgeführt wird.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

**- Leerseite -**

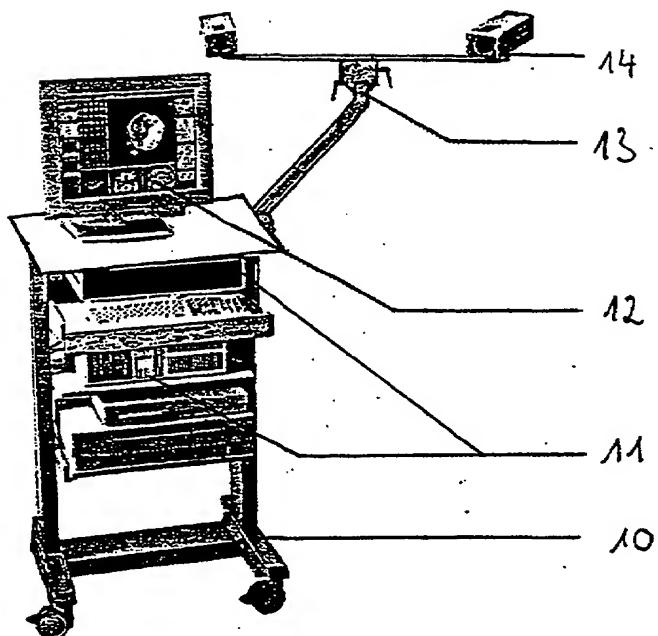


Fig. 1

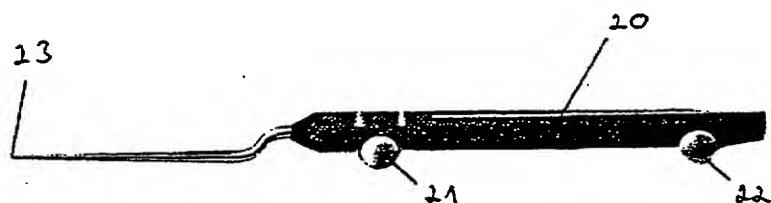


Fig. 2

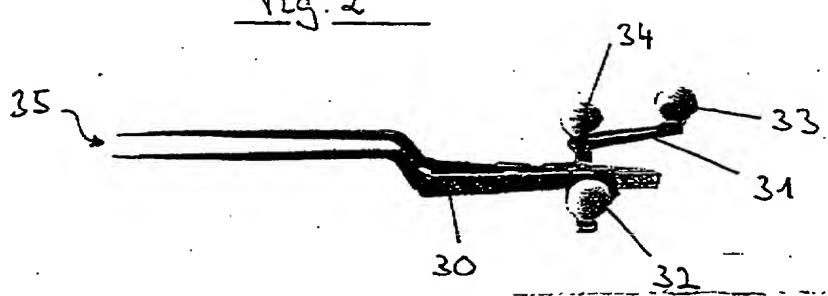


Fig. 3

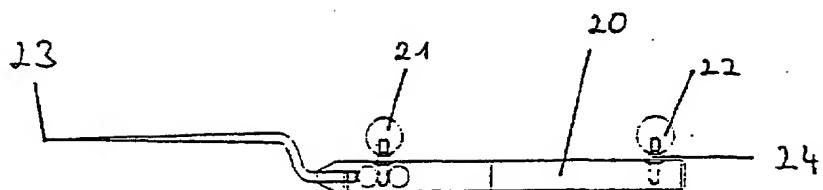


Fig. 4

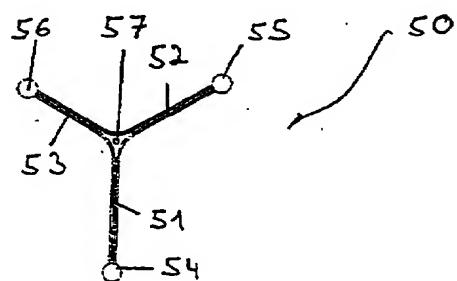


Fig. 5

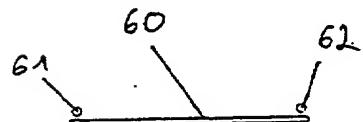


Fig. 6

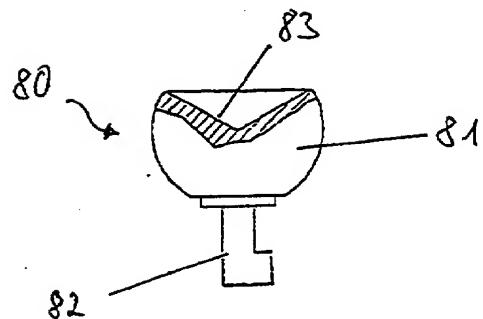
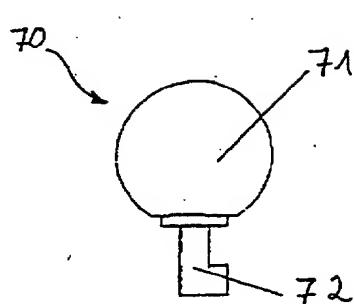


Fig. 7

Fig. 8

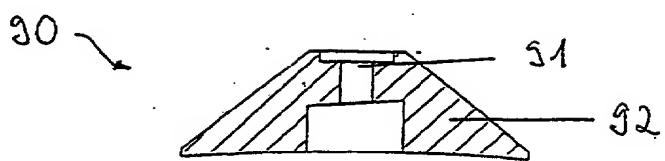


Fig. 9

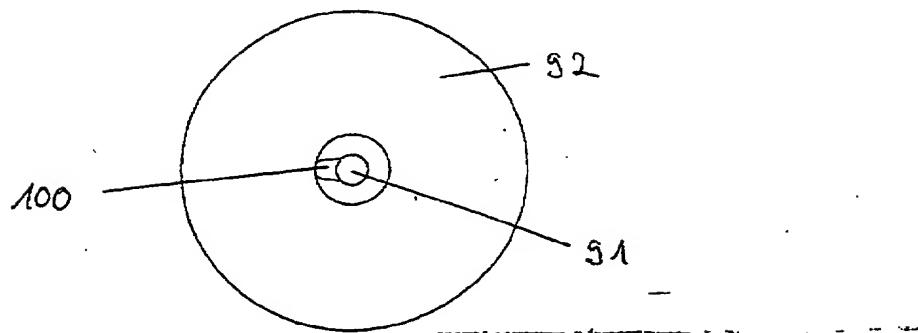


Fig. 10